



TITLE:

# むだ時間要素で結合されたシステムのモデル予測制御に関する研究( Abstract\_要旨 )

AUTHOR(S):

鷺北, 芳郎

CITATION:

鷺北, 芳郎. むだ時間要素で結合されたシステムのモデル予測制御に関する研究. 京都大学, 2018, 博士(情報学)

ISSUE DATE:

2018-09-25

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k21399>

RIGHT:

本論文の2章は、下記論文1, 2の2章を改編して転載したものである。本論文の3章は、下記論文1の3～5章を改編して転載したものである。本論文の4章は、下記論文2の3～5章を改編して転載したものである。本論文の5.2節は、下記論文3の4.1, 4.2節を改編して転載したものである。本論文の5.3節は、下記論文3の4.4節, 5章を改編して転載したものである。（論文1）鷺北芳郎, 大塚敏之：時変むだ時間要素で結合されたシステムの離散時間モデルと状態推定, 計測自動制御学会論文集, Vol.53, No.12, pp.625-632 (2017) （論文2）鷺北芳郎, 大塚敏之：むだ時間要素で結合されたシステムに対するモデル予測制御---フィードバック制御とフィードフォワード制御の統合設計, 計測自動制御学会論文集, Vol.54, No.4, pp.447-457 (2018) （論文3）鷺北芳郎, 伊勢居良仁, 武衛康彦, 齊藤憲幸：熱間薄板圧延における鋼板蛇行制御技術の開発, 鉄と鋼, Vol.95, No.1, pp.43-50 (2009). 論文1, 2は(公社)計測自動制御学会, 論文3は(一社)日本鉄鋼協会が著作権を有しており, 出典の明示を条件として転載許可を受けている。

( 続紙 1 )

京都大学	博士（情報学）	氏名	鷲北 芳郎
論文題目	むだ時間要素で結合されたシステムのモデル予測制御に関する研究		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本研究は、タンデム圧延機，風車群，化学プラントに代表されるような，複数のサブシステムが時変むだ時間要素で結合されたシステムを取り上げ，システム全体を最適に制御することを目的に，操作量の飽和や，制御量の望ましい範囲を制約条件として考慮することができるモデル予測制御の適用を検討し，その制御系設計方法と応用について研究したものである．論文は6章から構成されている．</p> <p>第1章は緒論であり，制約条件下での最適化が可能なモデル予測制御が，プロセス産業においては特に有用であることを述べ，本研究の目的を示している．</p> <p>第2章では，本研究が対象とする問題を具体的に設定し，むだ時間要素で結合されたシステムにモデル予測制御を適用する際の課題として，サブシステム間を移動する物質の速度変化によって時変となるむだ時間要素の離散状態方程式の構成方法，その状態方程式の状態量の推定方法，制御系設計法の三点を示している．</p> <p>第3章では，物質の移動速度が先見情報として与えられる場合の時変むだ時間要素の離散時間時変モデルとして，想定されるむだ時間の最大値を表せる個数の時不変の遅延演算子を並べ，それらの状態の線形結合でむだ時間要素の出力を表す時変遅延演算子モデルを提示している．この際，各遅延演算子の状態がむだ時間要素の入口からどれだけ離れた点の値を表しているのかを示す位置情報を導入して，時変むだ時間を正しく表現する方法を示している．そして，得られたむだ時間要素のモデルとむだ時間要素以外のモデルを結合することにより，システム全体の離散時間状態方程式を導出している．また，むだ時間要素を表すために導入した状態量の予測誤差を小さくするため，サブシステム間における観測値を活用し，オブザーバを用いて状態量と観測値の上流のサブシステムの出力外乱を推定する方法を述べている．この際，提示したむだ時間要素のモデルでは，オブザーバのゲインの各要素を同じ値にすれば，外乱，状態量，観測値の推定値のすべての応答が，むだ時間に依存しない一次遅れ系に一致し，オブザーバの設計の見通しに優れたモデルであることを示している．</p> <p>第4章では，第3章で導出したシステム全体の離散時間状態方程式モデルに，モデル予測制御を適用して制御系を設計する方法を述べている．サブシステム間における観測値は，上流のサブシステムに対してはフィードバック制御，下流のサブシステムに対してはフィードフォワード制御に用いることができ，フィードバック制御には定常特性，フィードフォワード制御には速応性が求められる．これらの異なる要求仕様を併せもつ制御系を，モデル予測制御の枠組みで統合的に設計するための方法を二通</p>			

り提示している．また，アクチュエータの応答遅れを相殺しようとして，操作指令が制御周期ごとに激しく振動する現象を抑制するために評価関数に付加すべき操作指令のペナルティ項について考察し，そのパラメータの設計指針を提示している．

第5章では，第4章までの基礎理論の検討結果を，鉄鋼プロセスにおける熱間薄板圧延の蛇行制御に応用することを検討している．タンデム圧延機を構成する各圧延機は一つのサブシステムとみなすことができ，タンデム圧延機全体は，圧延機間の鋼板の移動時間を表すむだ時間要素でサブシステムが結合されたシステムの一例である．まず，単圧延機別，すなわちサブシステムごとに独立にモデル予測制御を適用する場合の制御方法とその実機適用結果を示している．つぎに，第4章までの検討結果を適用してタンデム圧延機全体にモデル予測制御を応用する場合の制御方法を述べ，本研究の方法を適用することにより，単圧延機別に制御系を設計するよりも制御効果が向上することをシミュレーションで確認している．

第6章は結論であり，本研究で得られた成果を総括的にまとめている．

注) 論文内容の要旨と論文審査の結果の要旨は1頁を38字×36行で作成し，合わせて，3,000字を標準とすること．

論文内容の要旨を英語で記入する場合は，400～1,100 wordsで作成し  
審査結果の要旨は日本語500～2,000字程度で作成すること．

(論文審査の結果の要旨)

複数のサブシステムが時変むだ時間要素で結合されたシステムを最適に制御するためには、時変むだ時間要素を適切にモデリングし、むだ時間の上流と下流における制御を統合して設計する必要があるが、体系的な手法は確立されていなかった。本論文は、それらの課題に取り組み、以下の成果を得ている。

- (1) 時変むだ時間要素の離散時間時変モデルとして、時不変の遅延演算子を並べ、それらの出力の線形結合でむだ時間要素の出力を表す時変遅延演算子モデルを提示した。この際、各遅延演算子の出力がむだ時間要素の入口からどれだけ離れた点の値を表しているかに基づいて線形結合の係数を決定することで、時変むだ時間を精確に表現した。
- (2) むだ時間要素を表す(1)のモデルに導入した状態量を推定する方法として、サブシステム間における観測値を活用し、状態量と、観測位置より上流に位置するサブシステムの出力外乱を、オブザーバを用いて推定する方法を示した。また、むだ時間要素の遅延演算子モデルは、外乱、状態量、観測値の推定値のすべての応答を、オブザーバゲインと離散時間周期のみで決まる一次遅れ系に一致させられることを示した。
- (3) (1)の結果に基づくシステム全体の離散時間状態方程式モデルに対してモデル予測制御を設計する方法を考案した。サブシステム間における観測値を用いることで、上流のオフセットをなくすフィードバック (FB) 制御と、下流で外乱の影響を抑制するフィードフォワード (FF) 制御を行うことができる。これら異なる制御系をモデル予測制御の枠組みで統合的に設計する方法を二通り示した。設計法1は、観測値とその予測値との誤差を平滑した値を、出力外乱の代わりに用いて出力の予測値を計算し、その二次形式を評価関数とする方法である。設計法2は、システムをFF制御システムとFB制御システムに分解し、それぞれに対して設定した評価関数の和を、全体の評価関数として最小化する方法である。
- (4) 速応性が要求されるFF制御において、アクチュエータの応答遅れを相殺しようとして、操作指令が制御周期ごとに激しく振動する現象を抑制するための評価関数を提案し、そのパラメータの設計指針を示した。これにより、操作指令の振動が低減し、かつ望ましい制御応答が得られることをシミュレーションで確認した。
- (5) 鉄鋼プロセスにおける熱間薄板圧延の鋼板蛇行制御に対するモデル予測制御の適用を検討した。まず、単圧延機別の蛇行制御系を設計、実機適用することにより、鋼板の蛇行を大幅に抑制した。つぎに、(1)～(4)の制御系設計方法を用いて、単圧延機別制御を、上流の圧延機位置の蛇行量が下流の圧延機の外乱になる影響も考慮したタンデム圧延機全体の制御に発展させ、圧延機間の蛇行計の測定値を、蛇行計より下流の圧延機へのFF制御にも活用するタンデム圧延機全体の統

合蛇行制御系を設計した。また、本方法を2台の圧延機からなるタンデム圧延機に適用するシミュレーションを実施し、圧延機位置の蛇行量が、単圧延機別の蛇行制御の場合より減少することを確認した。

以上を要するに、本論文はむだ時間システムの制御系設計に関して有用な結果を得たものであり、その成果は学術上、實際上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（情報学）の学位論文として価値あるものとして認める。また、平成30年8月3日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。

注) 論文審査の結果の要旨の結句には、学位論文の審査についての認定を明記すること。  
更に、試問の結果の要旨（例えば「平成 年 月 日論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果合格と認めた。」）を付け加えること。

Webでの即日公開を希望しない場合は、以下に公開可能とする日付を記入すること。  
要旨公開可能日： 年 月 日以降